

JP2002120529

Title:  
TIRE BURST PREDICTING DEVICE

Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a tire burst predicting device capable of correctly predicting a tire burst to alarm. SOLUTION: A band frequency detecting means 44 approximates transmission characteristics from road surface disturbance to wheel speed to a primary delay model, and estimates a band frequency based on time series data of wheel speed detected by a wheel speed sensor 32 corresponding to frequency response of the primary delay model. A road surface  $\mu$  gradient estimating means estimates a road surface  $\mu$  gradient to the estimated band frequency based on a preliminarily stored map representing relation between the band frequency and the road surface  $\mu$  gradient. From the estimated road surface  $\mu$  gradient, excessive high frequency components are eliminated by a low-pass filter 48, so that estimation irregularity is reduced, and changing speed of the road surface  $\mu$  gradient is detected by a differentiator 50. A determining means 38 makes an alarm to inform possibility of a tire burst by an alarm means 40 when the detected changing speed of the road surface  $\mu$  gradient is over a specified threshold value.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-120529  
(P2002-120529A)

(43) 公開日 平成14年4月23日 (2002. 4. 23)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
B 6 0 C 23/00

識別記号

F I  
B 6 0 C 23/00

テーマコード\* (参考)

Z

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-314400 (P2000-314400)

(22) 出願日 平成12年10月13日 (2000. 10. 13)

(71) 出願人 000003609  
株式会社豊田中央研究所  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1  
(71) 出願人 000003207  
トヨタ自動車株式会社  
愛知県豊田市トヨタ町1番地  
(71) 出願人 000000011  
アイシン精機株式会社  
愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地  
(74) 代理人 100079049  
弁理士 中島 淳 (外1名)

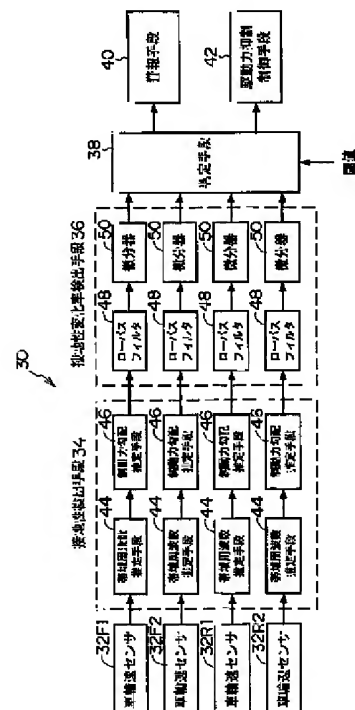
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 タイヤバースト予測装置

(57) 【要約】

【課題】 的確にタイヤバーストを予測して警報することができるタイヤバースト予測装置を提供する。

【解決手段】 帯域周波数検出手段44は、路面外乱から車輪速までの伝達特性を1次遅れモデルに近似し、該1次遅れモデルの周波数応答から車輪速センサ32で検出された車輪速の時系列データに基づいて帯域周波数を推定する。路面 $\mu$ 勾配推定手段は、予め記憶された帯域周波数と路面 $\mu$ 勾配との関係を表すマップに基づいて、推定された帯域周波数に対する路面 $\mu$ 勾配を推定する。推定した路面 $\mu$ 勾配はローパスフィルタ48により余分な高周波成分が除去されて推定ばらつきが低減され、微分器50により路面 $\mu$ 勾配の変化速度が検出される。判定手段38は、検出した路面 $\mu$ 勾配の変化速度が所定閾値以上の場合には、警報手段40にタイヤがバーストする恐れがあることを警報させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 車輪の速度を検出する車輪速度検出手段と、  
 検出した車輪速度に基づいて前記車輪と路面との間の接地性を表す物理量を推定する接地性推定手段と、  
 推定した前記車輪と路面との間の接地性を表す物理量の変化率を検出する変化率検出手段と、  
 検出した変化率が所定範囲外の値か否かを判断することによって前記車輪のバースト発生を予測する予測手段と、  
 を備えたタイヤバースト予測装置。

【請求項2】 前記予測手段は、検出した変化率が所定範囲外の値か否かを判断し、検出した変化率が所定範囲外の値の場合に警報を発することを特徴とする請求項1記載のタイヤバースト予測装置。

【請求項3】 前記予測手段は、検出した変化率が所定範囲外の値か否かを判断し、検出した変化率が所定範囲外の値の場合に前記車輪の駆動力を抑制することを特徴とする請求項1又は請求項2記載のタイヤバースト予測装置。

【請求項4】 前記接地性推定手段は、前記接地性を表す物理量を平滑化する平滑化手段と、平滑化された前記接地性を表す物理量を微分する微分器と、で構成されたことを特徴とする請求項1乃至請求項3の何れか1項に記載のタイヤバースト予測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はタイヤバースト予測装置に係り、特に、タイヤの接地性を検出してタイヤのバーストを予測するバースト予測装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】自動車はタイヤの空気圧が低い状態のまま高速走行した場合、タイヤにたわみが生じて（スタンディングウェーブ現象）タイヤの温度が上昇し、タイヤが切断される所謂バーストが発生する場合がある。

【0003】このタイヤのバーストを防ぐため、空気圧センサにより走行中のタイヤの空気圧を検出したり、検出したタイヤの車輪速からタイヤの空気圧を推定し、検出又は推定した空気圧が低下した場合に警報する技術が提案されている。

【0004】例えば、特開平7-149123号公報には、車輪速センサによりタイヤの車輪速を検出し、該検出した車輪速からタイヤの空気圧の低下を判定し、空気圧の低下を複数回判定した場合に警報する装置が記載されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、タイヤの適正空気圧は各々のタイヤで異なる場合があるため、一定の閾値で空気圧の低下を判定すると、タイヤを交換したりタイヤが磨耗したりすることにより適正空気圧が

変化した場合には誤って警報を発してしまう場合がある。また、路面及びタイヤの状態や走行条件によって警報を発するタイミングが遅くなったり早くなったりする場合がある、という問題があった。

【0006】また、タイヤの空気圧が適正であっても、許容範囲を越える状態で走行した場合、例えば極端に熱くなった路面を高速走行した場合には、タイヤがバーストする場合があるため、タイヤ空気圧警報だけでは正確にバーストを予測して警報を発することができない場合がある、という問題があった。

【0007】本発明は、上記問題を解決すべく成されたものであり、的確にタイヤバーストを予測して警報することができるタイヤバースト予測装置を提供することを目的とする。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1記載の発明は、車輪の速度を検出する車輪速度検出手段と、検出した車輪速度に基づいて前記車輪と路面との間の接地性を表す物理量を推定する接地性推定手段と、推定した前記車輪と路面との間の接地性を表す物理量の変化率を検出する変化率検出手段と、検出した変化率が所定範囲外の値か否かを判断することによって前記車輪のバースト発生を予測する予測手段と、を備えたことを特徴とする。

【0009】この発明によれば、車輪速度検出手段は、車両（例えば4輪自動車）の車輪の車輪速度を検出する。これは、例えば車輪が1回転する毎に所定数のパルス（車輪速パルス）を発生する車輪速センサを各車輪毎に設け、この車輪速センサから出力される車輪速パルスの単位時間当たりのカウント値又はパルス幅の計測値から車輪速度を検出することができる。

【0010】接地性推定手段は、検出した車輪速度に基づいて車輪と路面との間の接地性を表す物理量、例えば車輪と路面との接地面積や車輪と路面との間の摩擦状態（滑り易さ）を表す物理量を推定する。車輪と路面との間の摩擦状態を表す物理量としては、例えば制動力勾配があり、これを推定することにより間接的に車輪の接地性を把握することができる。制動力勾配は、例えば路面外乱から車輪速までの伝達特性を1次遅れモデルに近似し、この1次遅れモデルの周波数応答から車輪速の時系列データに基づいて帯域周波数を推定し、推定した帯域周波数から推定することができる。また、制動力勾配の他、車輪に駆動力を与えたときの駆動力勾配や車輪のグリップ状態を表す路面 $\mu$ 勾配はいずれもタイヤと路面との間の滑り易さを表す物理量であり、これらは等価な物理量であるため、制動力勾配に代えて駆動力勾配や路面 $\mu$ 勾配を用いても良い変化率検出手段は、推定した車輪と路面との間の接地性を表す物理量の変化率を検出する。すなわち、単位時間当たりの接地性を表す物理量の変化量を検出する。このように変化率を検出すること

で、車輪の状態の変化を把握することができる。すなわち、例えば接地性を表す物理量として制動力勾配を推定した場合において、車輪の温度変化等により車輪の接地面積が増え、推定した制動力勾配が急激に大きくなったり、又は小さくなったりすることにより接地性を表す物理量が急激に変化した場合、車輪がバーストする可能性があると判断することができる。

【0011】そこで、予測手段は、検出した変化率が所定範囲外の値か否かを判断することにより車輪のバースト発生を予測する。これにより、検出した変化率が所定範囲外の値の場合にはバーストが発生する可能性があるとして判断することができる。

【0012】なお、検出した変化率が所定範囲外にある状態が所定期間以上継続している場合にバーストが発生する可能性があるとして判断することもできる。

【0013】このように、接地性を表す物理量の変化率により車輪がバーストする可能性があるかを判断するため、特性の異なる車輪を装着している場合や、路面や走行条件が極端に変わった場合においても、的確にバーストの危険性を検出することができる。また、空気圧が適正であっても車輪のバーストが発生し得る状況、例えば極端に熱くなった路面を高速で走行するような状況においても的確にバーストを予測することができる。

【0014】また、タイヤによっては、トレッド発熱によりトレッド剥離する等の問題があるが、この場合にも接地性を表す物理量の変化率が所定範囲外になるため、危険を予測して事故を未然に防ぐことが可能になる。

【0015】なお、検出した変化率が所定範囲外の値の場合には、例えばアラームを鳴らしたり表示手段へ表示したりすることにより警報を発するようにしてもよい。これにより、車両のドライバーに車輪がバーストする可能性があることを容易に認識させることができ、車速の抑制を促すことができる。

【0016】また、検出した変化率が所定範囲外の値の場合には、警報に代えて、又は警報と共に車輪の駆動力を抑制するようにしてもよい。これにより、車速を抑制することができ、車輪のバーストを未然に防ぐことができる。

【0017】また、接地性推定手段は、接地性を表す物理量を平滑化する平滑化手段と、平滑化された接地性を表す物理量を微分する微分器と、で構成することができる。平滑化手段には例えばローパスフィルタを用いることができる。このように、接地性を表す物理量を平滑化して微分することにより、余分な高周波成分が除去され、例えば車輪の温度変化により生じる接地性を表す物理量の変化だけを検出することができる。

【0018】

【発明の実施の形態】〔第1実施形態〕以下、本発明の第1実施形態について説明する。まず、タイヤの接地性を表す物理量として制動力勾配を推定する場合の原理につ

いて説明する。

【0019】図1に示すように、車輪共振系の力学モデルは、リム10とベルト12との間に各々ばね定数 $K_1$ 、 $K_2$ のタイヤのねじればね要素14、16を介在させると共に、リム10と車体との間にばね定数 $K_3$ のばね要素18とダンパ20とを並列接続したサスペンションを介在させたモデルで表される。このモデルにおいて路面からの外乱（路面外乱）は、ベルト12からばね要素14、16、リム10に伝達されて車輪速 $\omega$ に影響を与えると共に、サスペンション要素を介して車体に伝達される。

【0020】ここで、1次の車輪減速度運動、2次のサスペンション前後共振、2次のタイヤ回転共振を統合した5次の車輪フルモデルを用いて、制動力勾配と路面外乱から車輪速までの伝達特性の追従周波数を表す車輪速周波数特性量との関係を説明する。この制動力勾配は、図2に示すように、スリップ速度（または、スリップ率）と制動力との関係を表す曲線の接線の勾配（傾き）によって表される。

【0021】図3は、制動力勾配が $300\text{ N s/m} \sim 10000\text{ N s/m}$ の限界制動領域からタイヤ特性に余裕のある低スリップ領域の範囲における、路面外乱から車輪速までの周波数応答を表すゲイン線図、すなわち周波数と路面外乱の振幅に対する車輪速の振幅ゲインとの関係を示したものである。

【0022】図3において、限界付近等の制動力勾配が比較的小さな領域においては、車輪速の周波数特性は、低周波数領域のゲインは大きく、高周波数領域のゲインは小さくなっている。このため、制動力勾配が比較的小さな領域においては低周波数領域のゲインと高周波数領域のゲインとの差を表す車輪速周波数特性量は大きくなる。

【0023】これに対し、定常走行等の制動力勾配が比較的大きな領域においては、車輪速の周波数特性において低周波数領域のゲインは制動力勾配の比較的小さな領域に比較して小さくなっている。また、高周波数領域のゲインは、タイヤの回転共振（ $40\text{ Hz}$ 付近）の発生等の影響によって制動力勾配が比較的小さな領域に比較してそれほど小さくはなっていない。この結果、制動力勾配が比較的大きな領域においては車輪速周波数特性量は小さくなっている。同様に、低周波数領域の車輪速信号の振動レベルと高周波数領域の車輪速信号の振動レベルとの差を表す車輪速周波数特性量も上記の低周波数領域のゲインと高周波数領域のゲインとの差を表す車輪速周波数特性量と同様に変化する。

【0024】以上のことから、低周波数領域のゲインと高周波数領域のゲインとの差（又は比）、または低周波数領域の車輪速信号の振動レベルと高周波数領域の車輪速信号の振動レベルとの差（又は比）を表す車輪速周波数特性量は、制動力勾配が大きくなるのに伴って小さく

なる値であり、この特性を利用することにより車輪周波数特性量から制動力勾配を推定することができる。

【0025】また、図3において、タイヤ回転共振が発生する40Hz付近の周波数帯域に着目した場合、制動力勾配が大きくなるに従ってタイヤ回転共振の共振ピーク波形が尖鋭になっている。また、タイヤ回転共振の共振ピーク波形は、制動力勾配が大きくなるに従って全体的な周波数特性が高周波側に移行している。

【0026】すなわち、この車輪特性を1次遅れモデルで近似した場合、図6に示すように、制動力勾配が大きくなるに従って周波数帯域が高くなることが理解できる。したがって、車輪特性を1次遅れモデルで近似して、ゲインが所定範囲の値から所定範囲外の値に変化する時の周波数である帯域周波数を車輪速周波数特性量として推定すれば、路面外乱から車輪速までの伝達特性の追従周波数を表す車輪速周波数特性量の値から制動力勾配を推定することができる。なお、2次、3次等の遅れモデルにおいても1次遅れモデルと略同様の特性を備えているので、車輪特性を低次の遅れの特性に近似してその車輪速周波数特性量を推定すれば、車輪速周波数特性量の値から制動力勾配を推定することができる。

【0027】また、上記で説明したタイヤに制動力を与えたときの制動力勾配の他、タイヤに駆動力を与えたときの駆動力勾配は、いずれもタイヤと路面との間の滑り易さを表す物理量であり、タイヤのグリップ状態を表す路面 $\mu$ 勾配と等価な物理量である。したがって、車輪速周波数特性量からスリップ率またはスリップ速度と制動力との関係を表す曲線の接線の傾きである制動力勾配、スリップ率またはスリップ速度と駆動力との関係を表す曲線の接線の傾きである駆動力勾配、及びスリップ率またはスリップ速度と路面 $\mu$ との関係を表す曲線の接線の傾きである路面 $\mu$ 勾配のいずれかを路面の滑りやすさを表す物理量として推定することができる。

【0028】以下、帯域周波数を車輪速周波数特性量として推定し、該推定した帯域周波数から接地性を表す物理量として制動力勾配を推定し、該推定した制動力勾配に基づいてタイヤのバーストを判断する第1実施形態について説明する。

【0029】図4に示すように、タイヤバースト予測装置30は、所定のサンプリング周期で図示しない車両の前後左右各々の車輪の車輪速度を検出し、車輪速の時系列データを車輪速信号として出力する車輪速検出手段としての車輪速センサ32<sub>F1</sub>、32<sub>F2</sub>、32<sub>R1</sub>、32<sub>R2</sub>と、各タイヤの接地性を表す物理量、すなわちタイヤと路面との粘着性を表す物理量を間接的に検出するための接地性推定手段としての接地性検出手段34と、検出した各タイヤの接地性を表す物理量の変化率を検出する変化率検出手段としての接地性変化率検出手段36と、検出した各タイヤの接地性を表す物理量の変化率に基づいてタイヤがバーストする恐れがあるか否かを判定する

判定手段38と、判定手段38からの指示によりバーストする恐れがある旨の警報を発する警報手段40と、判定手段38からの指示によりタイヤの駆動力の抑制を制御する駆動力抑制制御手段42と、を含んで構成されている。

【0030】なお、車輪速センサ32<sub>F1</sub>は左前輪の車輪速を、車輪速センサ32<sub>F2</sub>は右前輪の車輪速度を、車輪速センサ32<sub>R1</sub>は左後輪の車輪速度を、車輪速センサ32<sub>R2</sub>は右後輪の車輪速度を各々出力する。また、図4に示すように、帯域周波数推定手段44、制動力勾配推定手段46、ローパスフィルタ48、微分器50は左前輪、右前輪、左後輪、右後輪の各タイヤ毎に設けられている。

【0031】接地性検出手段34は、一例として、車輪速の時系列データに基づいて、路面外乱から車輪速までの伝達特性を1次遅れモデルに近似したときの該モデルの周波数応答を表すゲイン線図において、ゲインが一定値から変化するときの周波数を帯域周波数として推定する帯域周波数推定手段44と、予め記憶された帯域周波数と制動力勾配との関係を表すマップに基づいて、推定された帯域周波数に対する制動力勾配を推定する制動力勾配推定手段46と、で構成されている。

【0032】接地性変化率検出手段36は、一例として、推定した制動力勾配の推定ばらつきを低減するためのローパスフィルタ48と、制動力勾配の変化率を検出するための微分器50と、で構成されている。

【0033】次に、帯域周波数推定手段44による帯域周波数の推定及び制動力勾配推定手段46による制動力勾配の推定について説明する。

【0034】なお、本実施の形態の帯域周波数推定手段44では、全ての周波数を含む外乱である白色外乱が路面からタイヤに入力したと仮定し、最小自乗法を用いて1次遅れモデルの帯域周波数を同定した。

【0035】図5は、帯域周波数を同定するためのアルゴリズム、図6は、図1の車輪フルモデルに白色外乱を加えたときに図5のアルゴリズムによって同定される帯域周波数と対応する1次遅れモデルのゲイン線図を示したものである。なお、これらの処理は各タイヤ毎に行われる。

【0036】まず、図5に基づいて帯域周波数を同定するためのアルゴリズムについて説明する。ステップ100において車輪速センサ32で検出された車輪速度の時系列データに白色外乱を加えたデータを取り込み、ステップ102において2次のバタワスフィルタを用いて、例えば2Hzのハイパスフィルタと例えば20Hzのローパスフィルタからなるフィルタによる前処理を行う。車輪速信号をハイパスフィルタに入力してハイパスフィルタ処理することにより、車輪の加速度の定常成分が除去され、ローパスフィルタ処理することにより車輪速信号の平滑化処理を行うことができる。

【0037】次のステップ104において、オンライン最小自乗法を用いて前処理された車輪速の時系列データから帯域周波数の時系列データを推定する。まず、車輪速度センサ32によって、サンプル時間 $\tau$ 毎に離散化して検出された車輪速の時系列データをステップ102のフィルタによる前処理後の車輪速の時系列データを $\omega[k]$  ( $k$ はサンプル時間 $\tau$ を単位とするサンプル時刻で

ステップ1:

$$\phi[k] = \tau \{ \omega[k-1] - \omega[k-2] \} \quad \dots (1)$$

$$y[k] = -\omega[k] + 2\omega[k-1] - \omega[k-2] \quad \dots (2)$$

【0039】なお、(1)式の $\phi[k]$ は、1サンプル時間での車輪速度の変化量にサンプル時間 $\tau$ を乗算した値(車輪速の変化に関する物理量)であり、(2)式の $y[k]$ は、1サンプル時間の車輪速度の変化量( $\omega[k-1] - \omega[k-2]$ 、 $\omega[k] - \omega[k-1]$ )の1サンプル

ステップ2:

$$\theta[k] = \theta[k-1] + L[k] (y[k] - \phi[k]^T \theta[k-1]) \quad \dots (3)$$

ただし、

$$L[k] = \frac{P[k-1] \phi[k]}{\lambda + \phi[k]^T P[k-1] \phi[k]} \quad \dots (4)$$

$$P[k] = \frac{1}{\lambda} [P[k-1] - \frac{P[k-1] \phi[k] \phi[k]^T P[k-1]}{\lambda + \phi[k]^T P[k-1] \phi[k]}] \quad \dots (5)$$

【0041】という漸化式から推定値 $\theta$ 、すなわち、制動力勾配を推定する。ただし、(4)、(5)式の $\lambda$ は過去のデータを取り除く度合いを示す忘却係数(例えば $\lambda = 0.98$ )であり、 $T$ は行列の転置を示す。

【0042】なお、(3)式の $\theta[k]$ は、車輪速度の変化に関する物理量の履歴及び車輪速度の変化の変化に関する物理量の履歴を表す物理量である。

【0043】なお、上記ではオンライン最小自乗法を用いて帯域周波数を推定する例について説明したが、補助変数法等他のオンライン同定法を用いて帯域周波数を推定することもできる。

【0044】上記のようにして推定された1次遅れモデルにおける帯域周波数の推定結果の例を図6に示す。また、図6のゲイン線図より理解されるように、近似された1次遅れモデルのゲインは、制動力勾配が300Ns/m以外では、車輪フルモデルのゲイン線図の定常ゲイ

$$\ddot{v}_w = -\frac{k R_c^2}{J} v_w + w$$

【0046】ただし、 $v_w$ は車輪速度(m/s)、 $w$ は路面外乱、 $k$ は制動力勾配(Ns/m)、 $R_c$ はタイヤ有効半径(m)、 $J$ は車両慣性モーメントであり、 $v_w$ の係数は帯域周波数を表している。

【0047】ところで、上記(6)式は、限界領域において、帯域周波数 $\omega_0$ と制動力勾配との間に、

【0048】

【数4】

あり、 $k = 1, 2, \dots$ )とし、以下のステップ1及びステップ2を繰り返すことにより、検出された車輪速度の時系列データから制動力勾配の時系列データを推定する。

【0038】

【数1】

ル時間での変化量( $\omega[k-1] - \omega[k-2] - (\omega[k] - \omega[k-1])$ ) (車輪速度の変化の変化に関する物理量)である。

【0040】

【数2】

ンと反共振点(40Hz付近)におけるゲインを通過する特性として同定されており、低次元化により15Hz付近のサスペンション前後共振と40Hz付近のタイヤ回転振動の共振特性とが無視されている。また、制動力勾配が300Ns/mと小さいときには、1次遅れモデルでは反共振点を通過していないことから共振は表れず、1次遅れモデルの振動特性と車輪フルモデルの特性とが良く一致していることが理解できる。これは、制動力勾配が300Ns/m以下の限界付近の制動領域においては、サスペンション前後共振やタイヤ回転振動による共振の影響が小さく、車輪減速度運動モデルが支配的になっているためである。したがって、このような限界付近では、車輪運動は以下の車輪減速度運動モデルで近似できると考えられる。

【0045】

【数3】

$$\dots (6)$$

$$\omega_0 = \frac{k R_c^2}{J} \quad \dots (7)$$

【0049】という関係があることを示している。

【0050】また、低スリップ領域においては、最小自乗法の適用により図7の関係が導き出せる。この図は、車輪フルモデルにおける制動力勾配と白色外乱を加えたときの車輪速データから同定された帯域周波数との関係を示したものである。なお、図7の帯域周波数は、単位を[rad/s]で表した。制動力勾配は、帯域周波数が

増加するに従って単調増加している。この図7の帯域周波数と制動力勾配との関係をマップとして制動力勾配推定手段46のメモリに記憶しておき、マップを用いて車輪速信号に基づいて帯域周波数推定手段44で推定された帯域周波数に対応する制動力勾配を演算することにより、帯域周波数の推定（同定）結果から制動力勾配を推定することができる。

【0051】このようにして推定された各タイヤの制動力勾配は、ローパスフィルタ48により余分な高周波成分が除去されて平滑化され、微分器50へ出力される。微分器50では、制動力勾配を微分して制動力勾配の変化率、すなわち単位時間当たりの制動力勾配の変化量を判定手段38へ出力する。

【0052】このように、推定した制動力勾配をローパスフィルタ48で平滑化し、微分器50で微分することで制動力勾配の変化率を検出するため、タイヤのトレッドの温度変化により生じるタイヤ特性の変化、すなわち制動力勾配の時間変化だけを検出することができる。

【0053】次に、判定手段38により実行される制御ルーチンについて説明する。判定手段38は、図8に示すステップ200において、各タイヤの制動力勾配の変化率を入力する。

【0054】そして、ステップ202において、入力した各タイヤの制動力勾配の変化率が所定閾値以上か否かを各々比較する。すなわち、制動力勾配が所定以上の速さで急激に大きくなったり小さくなったりしたか否かを判定する。この所定閾値は、例えばこれ以上変化率が大きくなるとバーストが発生する恐れがある値に設定される。

【0055】そして、各タイヤの制動力勾配の変化率の何れかが所定閾値以上の場合には、ステップ204で警報手段40にタイヤがバーストする恐れがあることを警報させ、ドライバーに対して走行停止を促す。タイヤの制動力勾配の変化率が所定閾値以上になる場合とは、例えばタイヤの温度が上昇してタイヤと路面との接地面積が広がり、制動力勾配が急激に大きくなったり小さくなったりするような場合である。このような場合にはタイヤがバーストする可能性が高いと判断することができる。

【0056】なお、警報は、例えばアラーム音により警報してもよいし、表示パネルに制動力勾配の変化率が所定閾値以上のタイヤの位置を表示することで警報するようにしてもよいし、両方で警報するようにしてもよい。

【0057】また、警報に代えて、または警報と共に駆動力抑制制御手段42により車両の車速や駆動力を抑制するようにしてもよい。これにより、タイヤがバーストするのを未然に防ぐことができる。

【0058】また、所定閾値は、各タイヤで同一の閾値を設定してもよいし、タイヤの磨耗度によってタイヤのバーストに対する耐久性は異なるため、各タイヤの磨耗

度に応じて別々の閾値を設定してもよい。また、タイヤの種類によってもタイヤのバーストに対する耐久性は異なるため、装着しているタイヤに応じて閾値を設定してもよい。

【0059】また、左右のタイヤの制動力勾配の変化率の差、具体的には、車輪速センサ32<sub>F1</sub>に対応する微分器50の出力と車輪速センサ32<sub>F2</sub>に対応する微分器50の出力との差及び車輪速センサ32<sub>R1</sub>に対応する微分器50の出力と車輪速センサ32<sub>R2</sub>に対応する微分器50の出力との差を求め、この差が所定閾値以上の場合、すなわち左右のタイヤの制動力勾配の変化率の差が大きく異なる場合に警報するようにしてもよい。また、前後のタイヤについても同様に、前後のタイヤの制動力勾配の変化率の差、具体的には、車輪速センサ32<sub>F1</sub>に対応する微分器50の出力と車輪速センサ32<sub>R1</sub>に対応する微分器50の出力との差及び車輪速センサ32<sub>F2</sub>に対応する微分器50の出力と車輪速センサ32<sub>R2</sub>に対応する微分器50の出力との差を求め、この差が所定閾値以上の場合、すなわち前後のタイヤの制動力勾配の変化率の差が大きく異なる場合に警報するようにしてもよい。

【0060】このように、左右のタイヤの制動力勾配の変化率の差や前後のタイヤの制動力勾配の変化率の差を求めてバーストが発生する可能性があるか否かを判断することにより、車両の姿勢や路面状態等の外乱により生じる制動力勾配の変化の影響を受けることなく、的確に警報することができる。また、各タイヤ毎に制動力勾配の変化率を判定すると共に、左右のタイヤの制動力勾配の変化率の差、前後のタイヤの制動力勾配の変化率の差を判定して総合的にバーストが発生する可能性があるか否かを判断することにより、さらにロバスト性を向上させることができる。

【0061】なお、例えば左右のタイヤ又は前後のタイヤの制動力勾配の変化率の差を求めるのではなく、左右のタイヤ又は前後のタイヤの制動力勾配の差を求め、この差の変化率を求めて所定閾値以上か否かを判断し、所定閾値以上の場合にバーストを警報するようにしてもよい。

【0062】具体的には、図9に示すように、例えば左右のタイヤのバーストを警報する場合、車輪速センサ32<sub>F1</sub>に対応する制動力勾配推定手段46により推定された左前輪の制動力勾配と車輪速センサ32<sub>F2</sub>に対応する制動力勾配推定手段46により推定された右前輪の制動力勾配との差を減算回路47により演算し、この差の変化率を接地性変化率検出手段36で検出する。そして、判定手段38において接地性変化率検出手段36から出力された変化率が所定閾値以上の場合には警報手段40により警報させる。なお、前後のタイヤのバーストを警報する場合にも上記と同様の構成により行うことができる。

【0063】このように、タイヤの制動力勾配の変化率



によりタイヤがバーストする恐れがあるか否かを判断するため、特性の異なるタイヤを装着している場合や、路面や走行条件が極端に変わった場合においても、オフセットや感度変化の影響を受けることなく的確にバーストの危険性を検出することができる。換言すれば、タイヤの違いや路面、走行条件に応じてオフセットや感度変化の補正をする必要がなく、精度よくバーストの危険性を検出することができる。

【0064】また、空気圧が適正であってもタイヤのバーストが発生し得る状況、例えば極端に熱くなった路面を高速で走行するような状況においても的確に警報することができる。

【0065】さらに、タイヤがパンクしてタイヤ空気圧警報装置が作動し、修理工場まで自走するような場合には、タイヤがバーストする危険性が高い場合には2次警報的に警報することができる。

【0066】なお、制動力勾配の正常時の変化率を記憶しておき、過去の制動力勾配の変化率から閾値を学習するようにしてもよい。この学習は、各タイヤの制動力勾配の変化率の平均値から学習してもよい。この場合は、各タイヤの制動力勾配の変化率に大きな差がないことが望ましい。このようにバーストが発生する可能性があるか否かを判断するための閾値を学習することで、バーストが発生する危険性が高まっていることを的確に早期に検出することができ、誤警報及び誤作動を防ぐことができる。

【0067】また、本実施形態では、推定した帯域周波数から制動力勾配を求め、求めた制動力勾配の変化率からタイヤのバーストを判断するようにしたが、帯域周波数から直接タイヤのバーストを判断するようにしてもよい。この場合、図4に示す構成の場合には、制動力勾配推定手段46を省略し、帯域周波数推定手段44を直接ローパスフィルタ48に接続する。これにより、帯域周波数推定手段44から出力された帯域周波数はローパスフィルタ48により平滑化されて微分器50へ出力され、微分器50からは帯域周波数の変化率が出力される。判定手段38では、微分器50から出力された帯域周波数の変化率が所定閾値以上か否かを判断し、所定閾値以上の場合には警報手段40に警報させる。

【0068】なお、図9に示す構成の場合には、制動力勾配推定手段46を省略し、帯域周波数推定手段44を直接減算回路47に接続する。これにより、減算回路47では、左右のタイヤの帯域周波数の差を演算してローパスフィルタ48へ出力する。判定手段38では、微分器50から出力された帯域周波数の差の変化率が所定閾値以上か否かを判断し、所定閾値以上の場合には警報手段40に警報させる。

【0069】〔第2実施形態〕次に、第2実施形態について説明する。本実施形態は、帯域周波数に代えて、低周波数領域の振動レベルと高周波数領域の振動レベルと

の差を車輪速周波数特性量として用い、路面 $\mu$ 勾配を推定し、推定した路面 $\mu$ 勾配からタイヤのバーストを判定するようにしたものである。なお、本実施形態において第1実施形態と同一部分の説明は省略する。

【0070】図10に示すように、第1実施形態の帯域周波数推定手段44に相当する車輪速周波数特性量推定手段44は、低周波数領域の車輪速信号を抽出するためのバンドパスフィルタ60A、及びフィルタ処理後の車輪速信号から振動レベルと演算する第1の振動レベル演算手段62Aからなる低周波特性量演算手段と、高周波数領域の車輪速信号を抽出するためのバンドパスフィルタ60B、及びフィルタ処理後の車輪速信号から振動レベルを演算する第2の振動レベル演算手段62Bからなる高周波特性量演算手段と、低周波特性量演算手段で演算された低周波特性量と高周波特性量演算手段で演算された高周波特性量との偏差を車輪速周波数特性量として出力する特性量演算手段64とから構成されている。この特性量演算手段64出力には、第1実施形態の制動力勾配推定手段46に相当する路面 $\mu$ 勾配推定手段（図示せず）が接続されている。

【0071】低周波数特性量演算手段におけるバンドパスフィルタ60Aは、車輪速運動における比較的low周波数の領域の車輪速信号を透過するように透過周波数が設定されており、本実施の形態では、15〜50Hzの周波数の車輪速信号が透過するように設定されている。また、高周波数特性量演算手段におけるバンドパスフィルタ60Bは、車輪速運動における比較的高周波数の領域の車輪速信号を透過するように透過周波数が設定されており、本実施の形態では30〜50Hzの周波数の車輪速信号が通過するように設定されている。

【0072】振動レベル検出手段62Aは、バンドパスフィルタ透過後の車輪速信号を2乗してデシベル表現した信号を低周波数特性量として出力し、振動レベル演算手段62Bは、バンドパスフィルタ透過後の車輪速信号を2乗してデシベル表現した信号を高周波数特性量として出力する。

【0073】特性量演算手段64は、低周波数特性量と高周波数特性量との差を車輪速周波数特性量として出力する。

【0074】図4で説明したように、限界付近等の路面 $\mu$ 勾配（図4の制動力勾配と等価な値）が比較的小さい領域においては、車輪速の周波数特性は、低周波数領域のゲインは大きく、高周波数領域のゲインは小さいので、低周波数領域のゲインと高周波数領域のゲインとの差を表す車輪速周波数特性量は大きくなる。これに対し、定常走行等路面 $\mu$ 勾配が比較的大きな領域においては、車輪速の周波数特性は低周波数のゲインが路面 $\mu$ 勾配の比較的小さい領域に比較して小さくなっている。また、高周波数領域のゲインは、タイヤの回転共振の発生などの影響によって路面 $\mu$ 勾配比較的小さい領域に比較



してそれほど小さくならない。この結果、車輪速周波数特性量は小さくなる。従って、低周波数領域の振動レベルと高周波数領域の振動レベルとの差を表す車輪速周波数特性量は、路面 $\mu$ 勾配が大きくなるのに伴って小さくなる値であり、この特性を利用することにより車輪周波数特性量から路面 $\mu$ 勾配を推定することができる。

【0075】本実施の形態の路面 $\mu$ 推定手段は、車輪速周波数特性量が路面 $\mu$ 勾配が大きくなるのに伴って小さくなる性質を利用して、低周波数領域の振動レベルと高周波数領域の振動レベルとの差を表す車輪速周波数特性量と路面 $\mu$ 勾配との関係を示すマップを予め記憶しており、推定された車輪速周波数特性量とマップとから路面 $\mu$ 勾配を推定する。

【0076】なお、本実施形態では、特性量演算手段64の出力には、第1実施形態の制動力勾配推定手段46に相当する路面 $\mu$ 勾配推定手段(図示せず)が接続されること説明したが、図4に示す構成の場合には、特性量演算手段64の出力を直接ローパスフィルタ48に接続してもよく、図9に示す構成の場合には特性量演算手段64の出力を直接減算回路47に接続してもよい。すなわち、低周波数領域の振動レベルと高周波数領域の振動レベルとの差を表す車輪速周波数特性量から直接タイヤのバーストを判断するようにしてもよい。

【0077】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、的確にタイヤのバーストの発生を予測することができる、という効果を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態の車輪共振系の力学モデルを示すブロック図である

【図2】 スリップ速度と路面 $\mu$ との関係を示す線図で

ある。

【図3】 路面外乱から車輪速までの周波数応答を示すゲイン線図である。

【図4】 本発明の実施の形態のタイヤバースト予測装置の概略ブロック図である。

【図5】 本発明の実施の形態の帯域周波数を推定するアルゴリズムを示す流れ図である。

【図6】 1次遅れモデルの路面外乱から車輪速までの周波数応答を示すゲイン線図である。

【図7】 帯域周波数と制動力勾配との関係を示す線図である。

【図8】 判定手段で実行される制御ルーチンのフローチャートである。

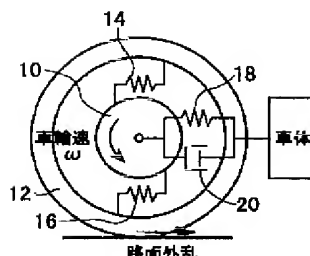
【図9】 タイヤバースト予測装置の他の例を示す概略ブロック図である。

【図10】 車輪速周波数特性量推定手段の概略ブロック図である。

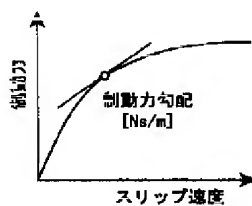
【符号の説明】

- 30 タイヤバースト予測装置
- 32 車輪速センサ
- 34 接地性検出手段
- 36 接地性変化率検出手段
- 38 判定手段
- 40 警報手段
- 42 駆動力抑制制御手段
- 44 帯域周波数推定手段、車輪速周波数特性量推定手段
- 46 制動力勾配推定手段
- 48 ローパスフィルタ
- 50 微分器

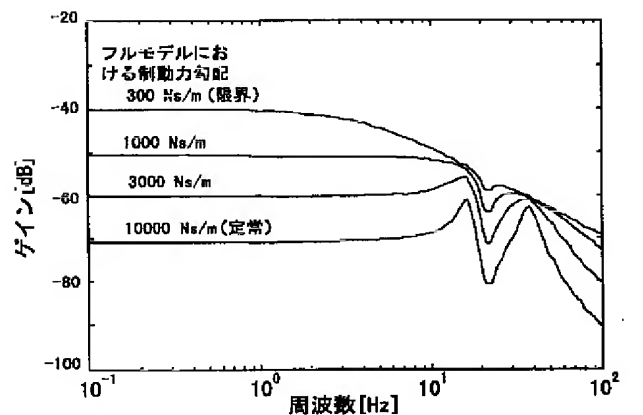
【図1】



【図2】

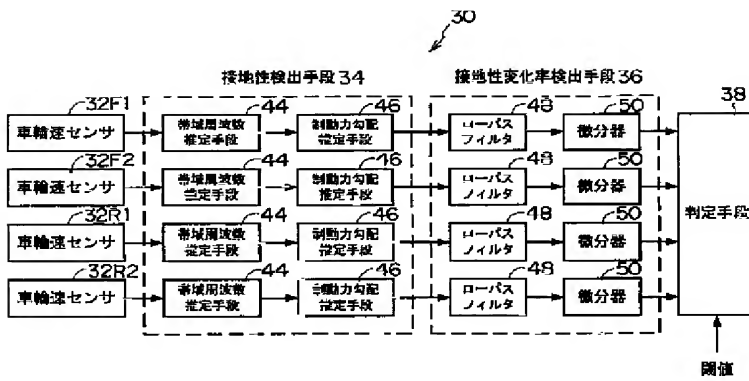


【図3】

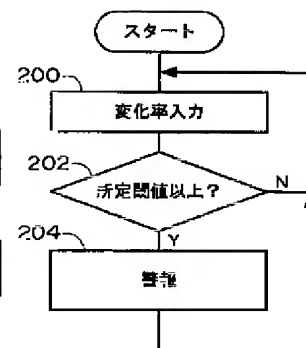


路面外乱から車輪速までの周波数応答 (制動力勾配 = 300~10000Ns/m)

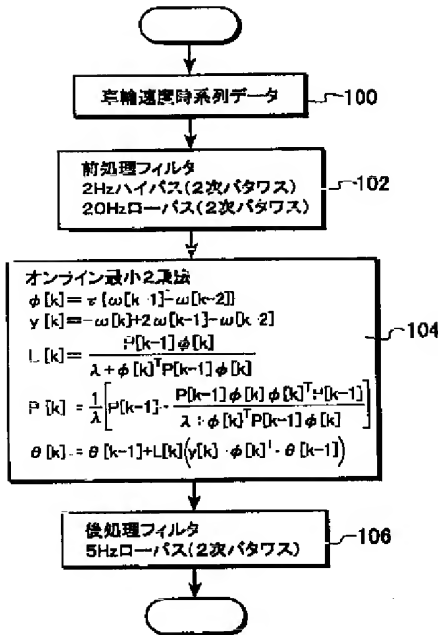
【図4】



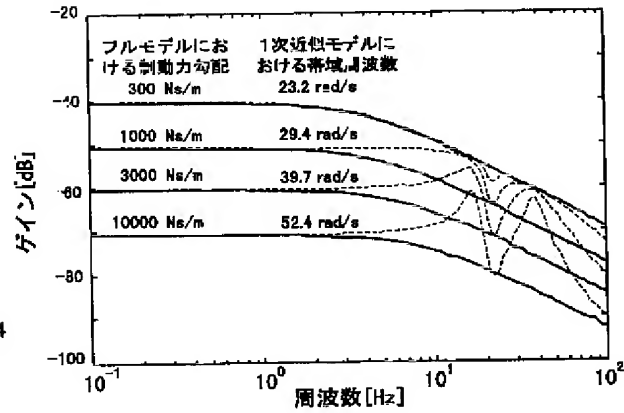
【図8】



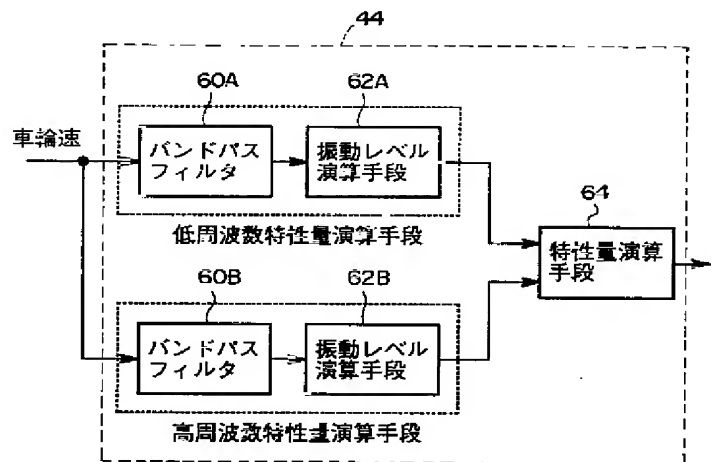
【図5】



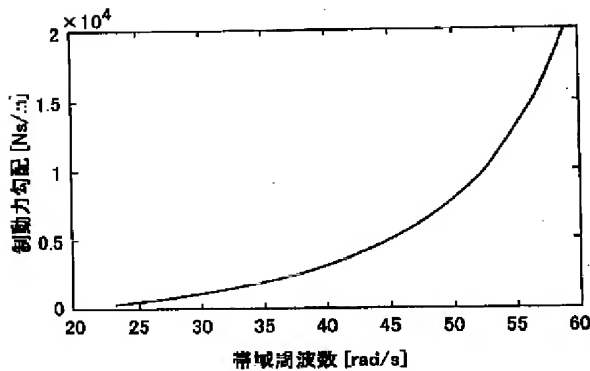
【図6】



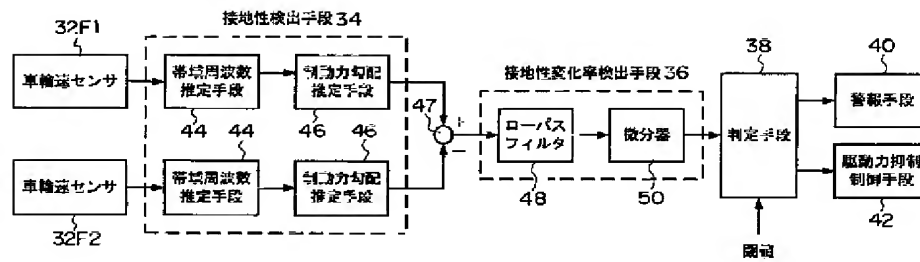
【図10】



【図7】



【図 9】



フロントページの続き

(71)出願人 000004260  
株式会社デンソー  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72)発明者 浅野 勝宏  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 小野 英一  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 梅野 孝治  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 大橋 秀樹  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動  
車株式会社内

(72)発明者 神谷 和宏  
愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 アイシ  
ン精機株式会社内

(72)発明者 森 雪生  
愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 アイシ  
ン精機株式会社内

(72)発明者 内藤 俊治  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会  
社デンソー内